

콘크리트 공장제품 개발동향 및 생산현황

국내 콘크리트 공장제품의 개발동향
Present Status of Concrete Product in Korea



정 재 동*



김 원 기**

〈편집자 주〉

최근 건설산업이 발전함에 따라 건설시장에서 차지하는 콘크리트제품의 비중도 점차 커지고 있다. 특히 건설노임이 크게 상승하고 있고, 현장에서는 우수한 품질의 건설자재를 요구하고 있기 때문에 노동력이 적게 들고 품질도 보장받을 수 있는 콘크리트 공장제품의 수요가 급격히 증가하고 있다.

선진외국에서는 이미 오래전부터 보통시멘트 콘크리트는 중량이 무겁고, 내약품성, 동결융해저항성 등이 취약하기 때문에 각종 특수 콘크리트를 이용한 제품들이 다양하게 생산·이용되고 있다.

사실 우리나라에서는 오래전 부터 벽돌, 파이프, 전주, 파일, 플룸 등 여러가지 시멘트 콘크리트제품 등이 생산·이용되고 있으나 대부분 기술수준이 독창성, 품질면에서 큰 개선을 가져오지 못하고 있는 것이 현실적인 과제라고 하겠다. 뿐만 아니라 이에 대한 전반적인 현황이나 수요공급에 대한 자료도 충분히 파악하기 어려운 실정에 있다.

따라서 이번의 특집에서는 단편적이긴 하지만 콘크리트제품에 대한 개발동향, 생산현황, 제조공법 및 업체현황 등에 대하여 다루어 보았던 바 이 분야에 종사하는 기술인들에게 다소나마 도움이 되었으면 한다.

끝으로 바쁘신 중에도 원고를 집필하여 주신 필자 여러분들께 깊은 감사를 드린다.

(특집주관 : 강원대 농공학과 연구석 교수)

1. 서 론

최근 국내의 급격한 경제성장과 건설품질의 사회문제화로 일반 콘크리트뿐만 아니라 콘크리트 2차 제품분야에서도 많은 양적, 질적인 변화가 일어나고 있다. 종래의 콘크리트 제품은 건축, 토목용 구조물의 주변물로서 필요 최소한의 기능과 외관만 갖추면 되는 것으로 건설부분에서 그다지 중요한 자리 매김을 받지 못한 것이 현실이었다.

그러나 최근 프리캐스트 구조물이 급격히 보급되고, 경제성장과 국제화에 따른 제품의 다양화 요구(예로서 인터록킹블럭의 컬러화, 고급화 등) 그리고 각종 특수공사의 증가 등에 따른 국내 제반규격의 변화(고강도 파일 및 흙관 규격의 상향조정) 및 매스컴의 관심(최근의 파일, 하수관 등의 부실시공보도 등)으로 인하여, 질적인 향상뿐만 아니라 새로운 제품을 만들기 위한 연구, 개발 경쟁이 날로 치열해지고 있다.

따라서 종래의 콘크리트제품은 대부분 중소기업에서 소규모로 생산하여 특정지역에 한정된 공

* 성희원, 대구대학교 건축공학과 교수, 공박

** 성희원, 농양중앙연구소, 선임연구원

급의 형태를 가졌으나 90년대 초반부터는 대형제조 및 건설업체들이 직접 제조하여 자사 구조물에 시공하고 전국적으로 제품을 공급하는 형태가 늘어나 오히려 과당경쟁의 경향까지 나타내고 있다.

본 고에서는 구조용 PC 부재를 제외한 국내 콘크리트 공장제품의 제조방법과 특징 그리고 최근의 동향에 대해 간단히 정리한다. (구조용 PC부재등은 다종다양하고 시공방법등과 연계되어 한정된 지면에 전부 정리할 수가 없으므로 학회지를 통해 기 언급된 부분의 참조를 바랍.)

2. 콘크리트제품 관련 최근의 동향

최근 공장제품 콘크리트에 있어서 사회환경변화에 의한 고급화, 고품질화 및 고강도화 등의 변화가 일어나고 있다. 이에 따라 기술적으로도 종래에는 볼 수 없었던 새롭고 다양한 제조, 성형, 양생방법들이 적용되고 있다.

종래에는 필요 최소한의 기능에 가격이 저렴하면 그대로 통용되던 것에서, 최근의 콘크리트제품에 있어서는 강도규격이나 경량, 단열 등의 기능성은 물론이고 색상, 디자인, 질감 등도 선택의 중요한 요소로 작용하여, 인터록킹블럭, 연석 등의 경관재료나 외장재료 등에서 보여지는 것과 같이 디자인의 다양화, 컬러화 및 고품질화가 급속히 진행되고 있다.

그리고 최근 건설구조물의 품질이 사회문제화됨에 따라 콘크리트 파일, 흙판 등의 제품에서 대표되듯이 고강도화의 추세도 중요한 변화중의 하나이다. 최근 레미콘에서의 고강도화도 급속히 보급되고 있지만 공장제품의 고강도화는 이러한 레미콘의 추세에 선행하여 개발, 정착되었고 기술적으로는 오히려 공장제품쪽이 레미콘을 선도해나가는 추세에 있다.

1991년에는 KS 중의 흙판의 강도규격이 개정되어 한층 엄격한 강도 규정을 설정하였고, 특히 파일에서는 종래의 압축강도 500kg/cm²의 일반 PC파일을 대체하여 압축강도 800kg/cm² 이상의 고강도파일이 급속히 보급되고 있다.

이러한 고강도, 고품질화를 뒷받침하는 기술로서는 된비빔 콘크리트를 진동다짐으로 성형하는

방법, 가압 혹은 진공설비에 의해 탈수하여 성형시키는 방법, 원심력을 이용하여 강제적으로 탈수시키는 방법 혹은 오토크레이브를 이용하여 고온 고압 양생하는 방법의 보급 외에, 반응성 미분말 혼화재, 고강도혼화제 등의 재료적인 고강도화 수법도 최근 급격히 적용되고 있다.

이러한 제조 프로세스의 개발, 개량과 함께 최근 국내의 고강도콘크리트제품의 제조 및 보급에 크게 기여를 한 것으로서 고성능감수제의 국내생산과 저가격화를 들 수 있다.

콘크리트의 물시멘트비 저감을 통한 고강도화에 필수적인 고성능감수제는 90년대 초까지만 해도 외국에서 수입된 완제품이나 국내에서 브랜드한 제품을 이용하여 일부 시험적으로 사용되고 있었으나 고가인 관계로 일반 레미콘이나 공장제품에 일상적으로 사용되지는 못하였다. 그러나 93년도 부터는 국내 K화학에서 저가격의 국산제품을 처음으로 출시하면서 콘크리트제품에 본격적으로 사용할 수 있게 되었다. 특히 고강도파일의 생산에 있어서는 국산 고성능감수제가 지대한 기여를 하여 95년까지의 고성능감수제의 생산추이는 고강도 파일의 생산량에 거의 비례하고 있을 정도이다.

그리고 최근에는 각종 PC 공법의 도입으로 다양한 조립식부재들이 생산·적용되고 있고, 일부 제조사에서는 경량골재를 사용한 경량패널까지도 생산하고 있어 앞으로도 콘크리트공장제품은 그 종류 뿐만아니라 질적, 양적으로 급속히 발전될 것으로 사료된다.

이러한 공장제품들 가운데 최근 그 변화가 두드러진 몇 개의 제품을 이하에 정리한다.

1) 인터록킹블럭의 고품질화

최근 고품질의 다양한 디자인과 색상의 인터록킹블럭이 생산·보급되어 도시부 미관이 한층 화려해지고 있다. 이러한 최근의 인터록킹블럭들은 주로 독일등지에서 기술도입한 것으로서 된배합의 콘크리트를 고진동, 가압 성형후 즉시 탈형하여 증기양생하는 방식이 주류를 이루고 있으며 공정의 자동화, 성력화를 통하여 고품질, 대량생산이 가능하게 되었다.

2) 고강도파일의 보급

93년 이후 S사에서 오토크레이브(고온고압)제조 방식으로, T사에서는 석고계의 고강도 혼화재(시그마1000)를 첨가하여 기존의 증기양생(상온상압)방식으로 1~3일 내의 단기간에 압축강도 800 kg/cm² 이상을 발현시켜 고강도파일을 생산하는 것을 시작으로, 국내 10여개사에서 고강도파일을 생산하여 일반 PC파일을 급속도로 대체하고 있다. 본격 출하 3년만에 전체 파일 시장의 약 40% 정도까지 차지하여 4~5년내에 전 파일시장이 고강도화될 것으로 예상된다.

그리고 이러한 고강도 파일 제조시의 고강도화 기술은 향후 고강도 PC 부재 및 고속전철용 침목, 폴(pole) 등의 공장제품으로 조속히 확산되어 나갈 것으로 생각된다.

3) 흙관

원심성형하는 일반 흙관이 주류를 이루고 있고 최근 건식콘크리트를 진동다짐하는 바이콘방식이 보급되었으나, 1991년 KS의 강도 규격이 상향 조정되면서 기존 흙관의 고강도화가 진행중이다. 흙관의 고강도화는 진동가압방식등의 성형방법의 개선(P사의 세비콘등), 팽창제(석회계나 CSA계 등)를 사용한 케미칼프리스트레스의 도입으로 달성이 가능하며, 최근에는 고강도 흙관 및 폐수나 산 등의 화학물질에 의한 부식에 강한 흙관관련 기술개발에 관련 업계의 관심이 고조되고 있다.

4) 중공압출성형제품

최근 시멘트, 콘크리트 압출성형제품이 새롭게 등장하고 있다. 압출성형법은 플라스틱이나 세라믹제품 등에서는 일반화된 방식이나 시멘트, 콘크리트제품에서는 국내 최초로 J사에서 창틀생산에 적용한 외에 94년 이후 S사의 아코텍, T사의 하리콘 등의 경량의 중공압출성형 패널이 등장하여 경량벽체의 새로운 장을 열었으며, 이 경량패널들은 종래의 ALC제품이나 샌드위치패널과 경쟁하면서 급속히 보급될 것으로 예상되며, 압출성형방식은 다른 콘크리트제품에로의 확산적용이 예상된다.

5) 폴리머콘크리트제품

폴리머콘크리트제품으로서 종래에는 목조, 세면대 등의 위생제품 및 플라스틱, 비닐 폐재를 이용한 도수관 등에서 일부 사용되었으나 최근에는 전력, 통신관련분야에서의 사용검토와 함께 H통신은 95년에 통신케이블매설용 맨홀등의 시제품을 개발하여 본격적인 생산을 준비하고 있어, 토목용 제품으로의 급속한 보급이 예상된다.

3. 콘크리트공장제품의 특징과 종류

3.1 공장제품의 특징

콘크리트 공장제품은 품질관리가 규격화된 공장에서 계속적으로 대량 생산되는 콘크리트 및 철근 콘크리트 부재를 말하며 일반적으로 공장제조 콘크리트 2차제품, 혹은 프리캐스트 콘크리트(Precast Concrete, PC)라고도 한다.

이러한 콘크리트 공장제품은 너무나 다양하고 그 종류가 많아 전체 공장제품으로 사용되는 콘크리트의 양을 직접적으로 추산하기는 어려우나, 현재 우리나라의 전체 시멘트 생산량 중에서 공장제품의 제조에 소비되는 비중은 15~20% 정도로 추산되며(선진국 30%정도) 앞으로 이 비율은 계속 증가될 전망이다.

콘크리트 공장제품의 특징으로서 건설 공사에 공장제품을 사용하면 현장 타설 콘크리트에 비하여, 공정관리를 실시하는 공장에서 숙련된 작업원에 의해 생산되므로 안정된 품질의 구조물을 얻을 수 있고, 현장에서의 양생이 필요없으므로 공기를 단축할 수 있다.

그리고 공장제품은 배합, 성형방법, 양생방법 측면에서 물/시멘트비가 작은 부배합의 콘크리트를 사용하여 원심, 진동, 압축 등의 강력한 기계적 성형방법과 증기양생이나 오토크레이브 등의 축진양생을 사용할 수 있으므로 고품질의 콘크리트를 만들 수 있다.

그러나 대형의 제품을 제조할 경우 공사현장까지의 운반이 문제가 되며, 한 공장에서 여러가지 종류와 규격의 제품을 생산하고자 하는 경우 매우 넓은 야적장이 필요하며, 현장조립을 하게 됨으로 이음부를 구성하는 재료의 적절한 선택, 시공의

표 1 공장제조 콘크리트 2차 제품

용도		제품종류
건축용	구체용	콘크리트블록, 콘크리트 판넬, ALC, 프리캐스트 철근콘크리트판, 프리캐스트철골철근콘크리트부재, 라멘용 부재, 경량PC판, RC커튼월, 계단 등.
	마감용	각종 슬레이트, 규산칼슘판, 각종 시멘트판
	기타	석면시멘트원통, 철근콘크리트조립말뚝, 기초검용지하실 등
토목구조용	말뚝	RC말뚝, PC말뚝, PHC말뚝, 강관콘크리트합성말뚝, 벽체용중공벽체말뚝 등.
	널말뚝	RC널말뚝, PC널말뚝, 가압콘크리트널말뚝 등
	호안구조물	콘크리트 연결 블록 등
	박스칼버트	박스칼버트
전도용		전주, 케이בל트랩, 배전탑용 기초블록 등
육로용	도로용	보도용평판, 포장용블록, 콘크리트 U형, 콘크리트 L형 경계블록, 교량 상판, 차음판 등
	세그먼트	각종 세그먼트
	철도용	침목, 궤도슬래브
수로용	관류	석면시멘트관, 철근콘크리트관, 흙관, 즉시탈형콘크리트관, 투수관, 합성강관, 추진관
	하수도용	횡단암거, 맨홀, 콘크리트빗물받이 등
	기타	콘크리트낙차공, 수중용세그먼트 등
해양	항만용	방파제 블록, 선박 등
	기타	인공어초
조경용		콘크리트인조목, 기둥, 화단용 블록 등
기타		선반용 콘크리트 패드

치밀성이 요구되는 등의 특징이 있다.

3.2 공장제품의 종류

콘크리트 제품은 용도(토목, 건축용), 제조방법(진동, 원심력, 가압등) 철근의 유무, 양생방법(상온, 수중, 증기, 고온고압, 전기양생등), 중량 혹은 혼합재료 등에 의하여 분류되고, 그 종류는 대표적인 것만 열거해도 50여종에 이를 정도로 많고 다양하다. 표 1은 대표적인 공장제조 콘크리트제품의 종류를 나타낸 것이다.

4. 콘크리트 제품의 제조

4.1 제조 일반

콘크리트 공장제품은 용도 및 종류, 모양, 크기 및 소요강도에 따라 제조방법이 크게 다르나 일반적으로는 레미콘과 거의 동일한 배치에서 각종의

재료들이 자동계량, 혼합된 후 호퍼에 넣어져 호퍼하부에서 컨베이어로 이송되어온 형틀(mold)로 투입된다. 이송된 형틀에는 별도의 공정에서 철근이나 강선이 자동절단, 용접기나 권선기 등에 의해 제작·조립되어 있고, 콘크리트 투입후 진동이나 원심, 가압 등의 성형 혹은 다짐과정 및 표면마무리를 거친 후, 증기 등에 의한 촉진양생을 하고 필요에 따라 프리스트레싱을 한후 출하된다.

제품의 종류에 따라 일부 공정의 변동(다짐, 양생, 프리스트레싱 등)은 있지만, 대부분의 콘크리트 제품은 철근을 미리 조립된 형틀에 콘크리트를 투입하여 촉진양생을 거쳐 제조된다.

그림 1에 공장제품의 일반적인 제조공정을 나타내었다.

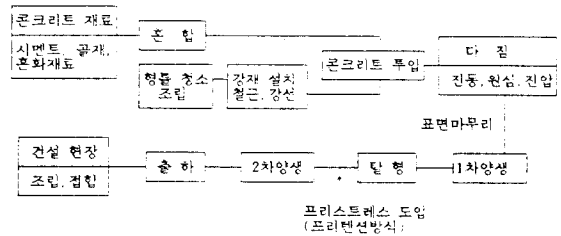


그림 1 공장제조 콘크리트 2차 제품의 제조 공정도

4.2 재료 및 배합

1) 재료

① 시멘트

일반적으로 보통포틀랜드시멘트가 많이 널리 사용되며 초기 재령에서 고강도를 요구하거나 즉시탈형이 필요한 제품, 한냉기 제조 제품의 경우에는 조강시멘트를 사용하는 경우도 있다.

② 혼화재료

거의 대부분의 콘크리트 제품에서 특정의 혼화재료가 사용되고 있다. 공장제품의 경우 부배합의 물시멘트비가 낮은 된비빔이 많으므로 혼합과 믹서나 호퍼에서의 배출작업성 및 일부성형을 용이하게 하기 위하여 감수제, 고성능감수제가 많이 사용된다. 그리고 강도를 높여 몰드회전율을 높이거나(생산성향상), 강도, 내구성, 수밀성을 개선하고 표면을 미려하게 하는 것이다.

공장제품의 경우 시간에 따른 슬럼프로수들은 거의 고려할 필요가 별로 없으므로 지연형 감수제는 사용하지 않는다.

ALC와 같은 경량 콘크리트 제품의 경우에는 경량화를 위해서 상당량의 기포를 도입하여야 하는데 금속 알루미늄 분말과 같은 발포제나 공기연행성이 극히 우수한 기포제를 사용하고 있다.

원심성형 콘크리트 제품 제조시 발생하는 슬러지수를 저감할 목적으로 증점제나 슬러지저감제를 사용하는 경우도 있으며 프리스트레스트 콘크리트 제품의 경우에는 케미칼프리스트레스를 도입하기 위하여 칼슘실포알루미늄에이트계 광물과 같은 팽창제를 사용하는 경우도 있다. 또한 상압증기양생에서 고강도를 얻기 위한 목적으로 석고계 분말을 가공한 고강도 혼합재가 최근 출시되고 있다.

혼화재료를 사용하여 얻는 효과는 사용하는 혼화재료의 성능, 콘크리트 제품의 종류, 제조 방법에 따라 다르다. 그러므로 제조자는 혼화재료의 균등성과 콘크리트의 작업성, 강도, 내구성, 수밀성 및 체적 변화 등에 미치는 영향, 경제성 등을 조사하여 사용 여부 및 사용 방법을 결정하는 것이 바람직하다.

③ 굵은골재

굵은골재의 최대 치수는 콘크리트의 작업성, 성형성 및 제품의 두께, 강도 등을 고려하여 일반적으로 30mm 이하(주로 19mm이하의 채석이 많이 사용됨). 제품의 최소 두께의 2/5, 철근 순간격의 4/5 이하로 규정되어 있다.

④ 강재

공장제품에는 철근이나 강선이 사용된다. 강재는 철근 콘크리트용 봉강 KS D 3504, 철근 콘크리트용 재생봉강 KS D 3527, 연강선재 KS D 3554, 경강선재 KS D 3510, 철선 KS D 3552, 피아노선 KS D 3556 등의 규격에 적합해야 하며, 프리스트레스트 콘크리트의 경우 고온양생에 의한 철근의 리락세이션등이 발생할 우려가 있으므로 사용강제의 기계적 성질이 사용목적에 적합한지 확인한 후에 사용하는 것이 바람직하다.

각종의 콘크리트제품 제조시 사용되는 콘크리트의 배합과 28일 재령 압축강도를 표 2에 나타내었다. 제품에서 요구되는 성능, 형상, 투입이나 다짐 방법에 따라 굵은 골재의 최대 크기, 단위시멘트량, 반죽질기가 다르다. 굵은 골재의 최대크기는 제품의 두께, 철근의 배근 간격 등과 주로 관계가 있고, 단위시멘트량은 제품에서 요구하는 강도와 관계가 있다. 즉, 큰 축하중이나 휨하중을 받는 구조물, 높은 내압이나 외압에 견뎌야 하는 파이프 형태의 제품에는 강선으로 프리스트레스를 도입시키고 있는데 프리스트레스의 도입에 따라 콘크리트 자체의 강도를 높일 필요가 있다.

반죽질기는 콘크리트를 형틀에 투입하는 방법(직접 투입, 펌프 압송, 벨트 콘베이어 이송 등)이나 다짐 방법(진동다짐, 원심다짐, 압축다짐 등), 제품의 탈형 시기(양생 후 탈형, 성형 직후 탈형 등)에 따라 다르다. 펌프로 압송하여 투입하는 경우(흙관등)에는 반죽 질기가 높은 편이며(슬럼프 8~15cm) 진동압축다짐후 즉시 탈형하는 제품(조립식 맨홀등)은 매우 된 반죽(슬럼프 0cm)을 사용해야 한다.

표 2 여러가지 공장제조 콘크리트 2차 제품의 배합과 28일 압축강도

콘크리트제품의 종류	굵은골재 최대크기 (mm)	단위시멘트량 (kg/m ³)	물/시멘트비 (%)	슬럼프 (cm)	압축강도 (kgf/cm ²)	
원심다짐	전주, 말뚝	30-10	400-520	45-37	3-10	400-500
	흙관	25-10	370-540	50-37	3-8	350-480
	스팬파이프	20-10	400-440	45-38	3-7	400-450
진동다짐	널말뚝, 관	25-15	300-400	50-38	2-8	300-450
	도로용제품	25-15	320-370	50-40	2-8	320-420
	무단 블록 세그먼트	30-20	240-300	55-45	2-6	200-300
PC 제품	말뚝, 침목	30-15	420-500	45-32	2-6	450-620
	PHC 말뚝A	25-20	450-520	40-32	6-18	750-1000
	PHC 말뚝B	25-13	540-580	30-26	4-8	850-1000
즉시탈형 제품	침목	25-15	420-400	40-30	0	500-600
	콘크리트관	20-15	280-350	40-34	0	350-450
	퀵터관	15-10	400-450	25-20	0	-
건축용제품	블록 류	25-15	230-300	45-35	0	250-350
	판넬, 보	25-20	300-350	45-35	0.5	300-400
	블록	25-10	220-280	45-35	0	250-300

2) 배합

4.3 콘크리트 제품의 혼합 및 성형

1) 혼합

공장제품의 혼합 시에는 배치식 믹서를 많이 사용하며, 일반적으로 물/시멘트 비가 낮은 부배합의 된반죽이 많이 사용되므로, 혼합효율이 좋고 부착이 적은 팬타입 믹서나 일축이나 이축의 강제식 믹서를 사용하는 편이 바람직하다.

적당한 비빔시간은 강제식 믹서의 경우 1분 이상, 가경식의 경우 2분 이상으로 하고, 믹서에 재료를 투입하는 순서는 전체 재료를 거의 동시에 투입하는 것이 일반적이나 시멘트와 가는 골재, 혼화제, 물을 미리 투입하여 균질한 모르타르를 비비고(선모르타르방식), 여기에 굵은 골재를 투입하여 혼합하는 경우도 있다. 이러한 경우 고성능감수제를 적게 넣어도 균질한 혼합물을 얻을 수 있다는 장점이 있으나 공정의 단순화를 위해서 동시 투입 방법을 쓰는 경우가 많다.

2) 다지기

콘크리트 제품의 다짐방법에는 봉진동기나 진동 테이블을 이용한 진동다짐 외에 원심다짐, 압축다짐 등의 기계적 다짐이 사용되고 있다. 최근 일본에서는 다짐에 소요되는 에너지, 인력의 절감, 소음, 진동 방지를 위해 다짐이 필요없는 고성능콘크리트(혹은 고성능콘크리트)를 채용하는 제품이 급속히 보급되고 있다. (본 학회지 95년 10월호 특집기사 참조)

① 진동 다짐

콘크리트를 거푸집에 투입한 후 진동대, 거푸집 진동기와 같은 외부 진동이나 삼입식 봉진동기 등의 진동에 의해 다짐하는 방법을 말한다. 봉진동기는 고진동수로서 저 진폭형으로 되어 있으며, 진동대나 거푸집 진동대와 같은 외부진동기는 반대로 3,000~5,000 rpm의 진동수와 진폭이 0.5~1.5mm, 진동가속도 5~15g(g : 중력가속도) 정도가 실용적이다.

진동기의 성능은 진동수와 진폭을 측정하여 다음의 식으로 가속도를 구할 수 있다.

$$\alpha_{\max} = 2\pi^2 a n^2 / 981$$

여기서 α_{\max} : 최대가속도(g),

a : 전 진폭(mm)

n : 진동수(rpm)

② 원심력 다짐

원심력 다짐 방법은 고속회전에 의해서 얻는 원심력을 이용하여 다짐하는 방법이다. 이것은 파이프 형태의 가운데가 빈 원통(말뚝, 전주, 홈관 등)을 생산하는데 능률적이며 물/시멘트비를 낮게 하여 고강도콘크리트를 쉽게 제조할 수 있다는 장점이 있다.

즉 원심력에 의해 콘크리트중의 물과 기포가 빠져 나오므로 다짐후 물/시멘트비는 5~10%가 낮아지며 압축강도는 15~25% 정도 높아진다. 원심력은 다음 식에 의하여 구할 수 있다. 여기서, 회전수의 측정은 접촉식 타코미터나 비접촉식으로 적외선 센서를 장착한 타코미터를 사용한다.

$$f = 4\pi^2 r n^2 / g$$

여기서 f : 원심력(g),

r : 회전반지름(cm)

n : 회전수(rpm),

g : 중력가속도(981cm/sec²)

최근에는 원심회전축에 진동을 주고 물러로 가압하는 방식을 조합하여 다짐효과를 한 층 높은 진동식 원심다짐 방법도 쓰이고 있다(P사 세비콘 제조방식). 표 3은 대표적인 원심력 다짐 제품인 콘크리트 말뚝의 원심력 다짐에서 일반적으로 쓰이고 있는 원심력과 회전시간을 나타낸 것이다.

표 3 콘크리트 말뚝의 원심다짐에서 원심력과 회전시간

말뚝의 크기와 외경(mm)	저 속		중 속		고 속	
	원심력(g)	회전시간(min)	원심력(g)	회전시간(min)	원심력(g)	회전시간(min)
소형 300-450	2.5	1-2	10-15	2.5	25-35	4-8
중형 500-800		2-4		5-10		5-10
대형 1000이상		4 이상		10 이상		10 이상
평균	3		12		30	

③ 가압 다짐(프레스성형)

가압 다짐은 제품형상의 금형에 콘크리트를 투

입한 뒤 프레스로 압력을 가하여 물과 기포를 짜내서 공극이 적고 치밀한 고강도 콘크리트제품을 찍어내는 방법이다. 경우에 따라서는 가압한 상태에서 고온양생하거나 가압하면서 진공 탈수하여 조기 고강도제품에 이용하는 경우도 있다.

주로 섬유나 목편 등의 혼합물이 첨가된 제품이나 슬래브, 교량용 세그먼트, 널말뚝, 기와 등의 판상 제품의 제조에 이 방법이 사용되고 있다.

④ 압출성형

압출성형법은 플라스틱이나 세라믹제품 등에서는 일반화된 방식으로 국내에서는 비교적 최근에 시멘트, 콘크리트제품에 적용되고 있다. 혼합이 끝난 된배합의 모르타르나 콘크리트를 스크류나 피스톤으로 압력을 가하여 압출기를 통해 단면이 같은 모양의 제품을 연속적으로 뽑아내는 방식이다. 관재, 파이프 외에도 단면이 복잡한 형상도 제조가능하며 국내에서는 창문 프레임과 중공경량벽체에 적용되고 있고, 중공(속이 빈) 성형방식과 함께 경량골재, 섬유보강재 등을 병용함으로써 경량, 단열, 차음재료로서 향후 많은 제품으로의 적용이 가능할 것으로 생각된다.

4.4 공장제품의 양생

콘크리트 제품의 제조에서 양생은 주로 촉진양생방법이 사용되고 있다. 이것은 거푸집의 회전율을 높이기 위해 탈형이 가능할 정도의 강도를 얻는다는 목적 외에 제품의 출하를 가능한 빠르게 하기 위해 물성을 조기에 획득하려는 목적도 있다. 촉진양생후 제품은 출하시까지 야적장에서 습윤양생을 하는 경우가 많다. 촉진양생 방법에는 일반적인 상압증기양생(65~80℃)과, 오토클레이브(180℃, 10기압)를 이용한 고온고압양생, 전기양생 등이 있다.

1) 증기 양생

증기 양생은 공장제품제조에 가장 일반적으로 사용되는 촉진 양생방법이다. 일반적인 증기 양생 조건은 그림 2에 나타낸 것과 같으며, 비빔 후 2~3시간 이후부터 증기양생을 실시하고(전치양생), 온도 상승속도는 20℃/hr 이하, 최고온도는

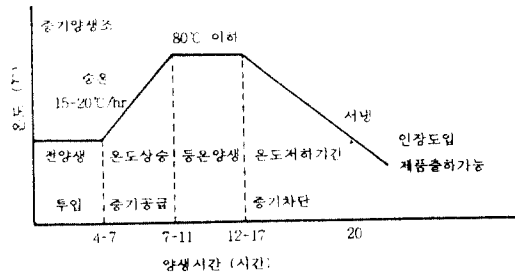


그림 2 일반적인 증기양생 사이클

65℃로 양생실의 온도를 균일하게 올린다.

2) 고온고압양생(오토클레이브양생, high pressure steam curing)

고온고압양생은 고온고압하에서 생성되는 시멘트 수화물인 토펬모라이트 섬유상 결정이 콘크리트의 압축강도를 크게 향상시킬 수 있다는 데 착안한 것으로 규석 미분말을 적당량 시멘트와 혼합하여 토펬모라이트 결정을 최대한 많이 생성시키는 조건인 180℃, 10기압 부근의 조건에서 고온고압 처리하는 것을 말한다.

실제로 사용되는 오토클레이브는 지름 2.5~4.0m, 길이 40~60m 정도의 기밀의 고온고압용기이다. 이 오토클레이브 양생으로 석면시멘트관, 경량기포콘크리트나 압축강도 800kgf/cm² 이상의 고강도 콘크리트 제품을 제조할 수 있다.

그림 3은 이러한 제품중 대표적인 고강도 콘크리트 말뚝(PHC Pile)의 양생 과정을 나타낸 것이다. 증기양생조에서 상압증기양생으로 프리스트레스 도입이 가능한 강도(450 정도)를 얻은 다음 오토클레이브안에서 고강도(압축강도 800kgf/cm² 이상)를 얻는 방법이다.

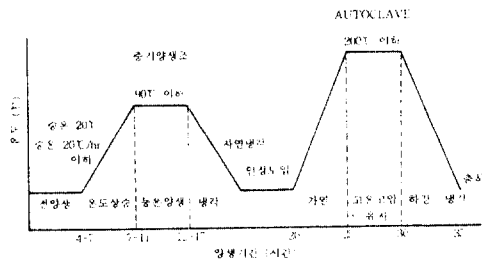


그림 3 오토클레이브 양생 사이클

3) 전기양생

전기양생 방법은 거푸집에 전극판을 붙여 거푸집 내부의 콘크리트에 전류를 통하면 굳지 않은 상태의 콘크리트는 저항이 큰 전기전도체가 되어 저항발열이 일어나면서 경화가 촉진되는 현상을 이용한 것이다. 이 방법은 주로 구 소련에서 한중 콘크리트 공사에 사용되어 왔던 방법으로 이후 연구 개발이 진행되어 콘크리트 제품 제조공정에 적용되고 있다고 한다.

전기양생은 슬래브, 판넬 등의 판상제품에 적당하며 증기양생이나 고온고압양생에 비교해서 열 손실이 적고 경제적이라고 한다.

5. 콘크리트 제품 분야의 기술적 문제점과 해결 과제

콘크리트는 가격면에서 다른 재료에 비해 매우 저렴하며 물과 혼합하여 굳히는 물질이므로 반죽 상태에서 다양한 성형방법을 통하여 형상이나 크기를 비교적 자유롭게 제조할 수 있으며, 내구성이 우수한 재료라는 점에서 널리 사용되고 있다. 그러나 다음과 같은 한계, 혹은 해결 과제를 갖고 있다.

- ① 콘크리트는 근본적으로 취성 재료라는 점에서 철근 콘크리트 복합재료화가 불가피하며 이것으로 인해 중량이 무겁다는 점.
- ② 진동이나 가압다짐 과정에서의 과도한 에너지 소비와 소음, 진동 발생 문제.
- ③ 오토클레이브 양생과 같은 촉진 양생 과정에서 소요되는 막대한 에너지의 절감.
- ④ 거푸집 회전을의 제거와 출하기간 단축.
- ⑤ 운반, 사용 중의 파손 대책.

이러한 한계나 과제를 해결하는 방법으로 콘크리트의 고강도화, 고유동 콘크리트의 사용, 상압 증기양생만으로 고강도를 얻을 수 있는 특수혼합재의 사용, 경량골재의 사용, 철근을 대체할 수 있는 경량, 고인성 섬유 사용 등이 시도되고 있다.

또한 콘크리트 제품의 최종 성능은 이음부의 시공에도 좌우되므로 제품 자체뿐만 아니라 이음부를 구성하는 그라우트 재료의 적절한 선택과 견실한 시공이 요구된다.

1) 콘크리트의 고강도화

콘크리트 제품의 고강도화는 낮은 물/시멘트비, 높은 단위시멘트량, 고성능감수제의 사용, 혼합재(실리카폼 등)의 첨가 등으로 얻는 것이 일반적이지만 초고강도화를 달성하기 위해서는 구성재료 자체의 개선, 즉, 시멘트 자체의 고강도화, 골재의 개선, 골재와 시멘트 사이의 결합력의 개선이 필요하다.

2) 고유동 콘크리트의 적용

소음, 진동 등의 작업환경 개선의 필요성 외에도, 철근의 배근이 복잡하거나 치밀한 경우 콘크리트의 흐름이 막히거나 재료 분리현상이 일어나 시멘트 페이스트 부분만이 일부 흘러 들어가고 골재가 모이면서 발생하는 폐색현상이나 콘크리트의 다짐이 불완전하여 제조후 땀질이 필요하여 생산성이 저하되는 경우, 다짐이 필요없고 높은 충전성을 갖는 고유동성(고성능) 콘크리트의 적용을 생각할 수 있으며, 이것은 일반레미콘 분야보다 공장제품에 조기 적용될 것으로 생각된다.

3) 상압증기양생용 혼합재의 적극활용

고강도콘크리트제조시 고압고압양생은 에너지 소비량이 많고, 오토클레이브의 설치와 같은 거대 설비투자를 요하며 제품의 생산능력이 오토클레이브 용량에 제한을 받는다는 제한점이 있다.

최근 상압증기양생만으로 오토클레이브 양생과 동등 이상의 강도를 조기에 발현하는 혼합재(T사의 시그마1000)나 특수시멘트(S사의 고허산염시멘트)를 사용하여 고강도파일을 제조하고 있다.

이 방법은 시멘트와 석고의 반응생성물인 에트린자이트 섬유상 결정을 상압증기양생 과정에서 생성시켜 고강도를 얻는 방법이다. 현재는 주로 고강도파일 제조 분야에만 적용되고 있으나 기존의 오토클레이브를 사용하는 분야 외에도 일반 콘크리트제품의 고강도화에도 적용이 가능할 것으로 생각되므로 많은 연구, 개발이 필요한 것으로 사료된다.

4) 경량화

취급이나 운반의 편의를 위해서, 그리고 고층건

물의 보급으로 보다 가볍고 강도가 높은 부재의 개발이 요구되고 있다. 경량화 방법에는 잔 골재를 사용하지 않거나($\rho=1.2\sim 2.1$), 경량골재를 사용하거나($\rho=0.8\sim 1.4$) 콘크리트중에 기포를 도입하는($\rho=0.25\sim 0.8$) 방법 등이 있으나 이들 방법은 반드시 강도의 저하를 초래한다(양질의 경량골재의 국산화도 시급하다).

콘크리트의 공극율을 높이지 않으면서 경량화와 고강도화라는 상반된 요구를 만족하려면 초고강도콘크리트와 섬유보강 등에 의하여 부재의 박막화와 무철근화가 남은 유일한 방법이다.

향후 이러한 경량화에 많은 연구가 필요한 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 최신 콘크리트재료, 공법핸드북, 기시타니외, (일본)건설산업조사회, 1985년
2. 일본 시멘트 콘크리트산업의 장래, 우찌카와, 오노다논문보고서, 제122호
3. 건설재료학, 문한영, 동명사, 1985
4. Non-Autoclave 방식 고강도콘크리트 파일 제조기술개발 및 공정적용, 동양중앙연구소, 원심력콘크리트 제조기술 세미나, 1993 